土壤與環境，民國九十二年十二月，第六卷，第四期，第 207 頁至第 222 頁
Soil and Environ., December 2003, Vol. 6, No. 4, p 207-p 222.

水稻施肥推薦系統之建置

Establishment of Fertilization Recommendation System for Paddies in Taiwan

陳琦玲[1*] 陳世峰[1] 林毓雯[1] 王鐘和[1] 劉滄棽[1] 張瑞明[1]
C. L. Chen[1] S. F. Chen[1] Y. W. Lin[1] C. H. Wang[1] T. S. Liu[1] J. M. Chang[1]

摘要

本系統之施肥推薦包括水稻之梗稻、秈稻、圓糯、長糯等類別，其中在臺灣栽種面積較廣之多種品種的氮、磷、鉀三要素之施肥推薦；氮肥推薦原則乃以前人水稻肥料試驗結果之推薦量範圍為基準，再依期作生產力、有機資材之施用量及土壤特性，依序調整其推薦量或施肥方式。調整程序乃先將 1991 年全省一、二期作十個生產力等級調整為五個等級，以決定推薦量基準，生產力愈高則推薦量愈高。推薦量再扣除有機資材或前作殘體之施用將提供之肥分。若考慮生產良質米則僅施推薦量的 90 ％ 。至於施肥方式，採用深層施肥者以推薦量之 70 ％ 爲基肥，且不必再施用追肥；採用撒施者則依土壤質地來決定每次施肥之比例。穗肥則無論何種施肥方式，均依幼穗形成期之葉綠素測值或遙測資料決定全量或酌減施用。磷、鉀肥的推薦量則依土壤有效性磷、鉀的含量而定。磷肥之施肥方式以全部當基肥爲原則，但花蓮及宜蘭等地區則推薦分施；鉀肥之施肥方式則以分施爲原則。肥料實際推薦量則依肥料種類再作調整。本系統係以 Visual Basic 與 Mapobject 軟體，連結地理資訊系統及 MS Access 軟體，在微軟視窗 (Windows 98) 中文環境上開發之。

關鍵詞: 水稻，施肥，推薦系統。

ABSTRACT

The fertilization recommendation of the three major essential elements (N, P, K) for cultivated varieties of Japonica, Indica and Glutinous types are involved in fertilization recommendation system. The fertilization recommendations for nitrogen are based on the results of experiments conducted in respective regions in Taiwan, and adjusted with the crop productivity, expected N release from the residue of previous crop, application method and soil properties. The crop productivity levels are divided to five levels modified from the ten levels of productivity rating of paddy in Taiwan. The higher the productivity, the higher rate is recommended. The rate is deducted for

1 行政院農委會農業試驗所農化組 Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute
* Corresponding Author

the nitrogen released from the residue of the previous crop. The rate is deducted by 10 % recommended rate if a higher quality of rice is chased. The rate is adjusted by 70 % rate as long as the fertilizer applied for deep placement and spares the dressing application. The amount of the individual three or four split application is decided by soil texture provided broadcast application is adopted. The rate for panicle initiation stage is dependent on the leave chlorophyll value or remote sensing information. After nitrogen rate is devised, the real fertilizer rate can be calculated with different kind of fertilizers. The recommendation rates for phosphorus and potassium are dependent on the levels of available P and K in the soil. The system have been programmed by Visual Basic and MapObject with geographic information system (GIS) and MS Access software on the Microsoft Windows 98 in Chinese.

Key Words : Paddies , Fertilization, Recommendation System.

前言

臺灣稻作單位面積產量之發展與肥料之施用密切相關；肥培技術之發展遂爲臺灣稻作發展上很重要之一環 (連，1999)。

肥料之施用固有提高生產和收益一面，亦有其衝擊環境之一面。蓋肥料之施用難免伴隨養分要素之流失或逸散損失，尤以不當之施肥 (過量或不良的施肥方法) 所致爲最。由於人類對於環境及能源之危機日增，合理或適當之施肥乃受議論；其一端有排除化學肥料之施用，甚至排除一切由外投入之肥料 (包括有機質肥料) 者，諸如不同之有機農業及某種自足型之生態農業等。惟此等農耕方法之不具生產性甚明，因此一般都以兼顧生產性和環境保護者爲主流，諸如，對環境和善的農耕 (Environmentally Friendly Farming)，依地點特性調和的管理 (Site Specific Management) 或診斷處方的農耕 (Prescription Farming) 等，均係針對土壤特性、肥力或作物生產潛力、營養狀況等而適量、適法施肥爲原則，以提高施肥效率，減少環境衝擊和達到生產性爲目的。

臺灣稻田之施肥推薦一向都以全區多年多處舉辦之田間試驗結果爲基礎，配合土壤分類、肥力測定等靈活調節，故已相當符合依地點特性調節的施肥管理 (Site Specific Management) 原則，成績亦達一定水準。惟由於社會經濟因素之變遷，如已成過去但影響仍深的過去肥料價格穩定政策，及近年來之人工缺乏、工資上漲等，肥料之施用確有過量和粗放傾向。據 1990-1991 年間中部地區稻田多處之調查 (戴與林，1992)，農民肥料慣用量平均爲氮、磷酐、氧化鉀各 220，60，110 公斤公頃$^{-1}$，較試驗場所之推薦量平均氮、磷酐、氧化鉀 130，40，60 公斤公頃$^{-1}$，各多出許多，可見過量施肥之一斑。又因稻田多年來之磷鉀肥施用，土壤中亦有磷、鉀累積跡象 (Lian, 1989) 。加之，由於大量飼料之輸入，臺灣土地之養分負荷實已增大；此等飼料養分經由農畜產廢棄物排出，又難於平均分散於農地，致使局部農地亦有養分過多或水質污染等問題。爲因應上述一連串問題，除了加強機械化施肥技術之發展外，加強既有土壤診斷、施肥推薦服務亦甚重要 (連，1998)。

由於資訊科技之發展與普及，美國於 1980 年代後半乃有精準農耕 (Precision Farming) 之提出 (謝澤，2000) 。依據Robert (1997) 之定義，精準農業是一種資訊及技術

為基礎的農業經營管理系統，經藉一套完善的決策系統整合串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統、遙測科技及自動化農機變率操作系統，鑑定、分析與管理特定農田或土壤的空間與時間變異性，期能獲取最佳收益，同時兼顧環境保護，確保農業永續發展。如是，則精準農耕亦是依地點特性調節施肥 (Site Specific Management) 之一種，惟其發展之背景則是大規模之農場 (200-500公頃)，而且作物種類單純 (陳，2000)。臺灣地區稻田每塊田區之面積狹小，且長久以來每個田區已成為施肥管理的單位，各田區間之變異既非連續，亦無自動化農機變率操作系統發揮功能之餘地。Blackmare (2000) 亦質疑在小面積農田施行變量施肥之必要性。另據美國國科會 (NRC) 所下的定義，精準農業是一種經營管理手段，採用資訊技術分析各種來源的資料以獲得資訊，從而產生與農作生產有關的決策 (林等，2001)。如是，則廣義的精準農耕與既有依地點特性調節施肥管理的農耕方法並無甚差別，僅在資訊之擴大應用上有些差異而已。

由於各方面之努力及資訊科技之應用，臺灣亦有各種土壤肥力、稻田生產力等資料庫之建立。當務之急應是將既有之稻田施肥推薦系統電腦化並與上述資料庫連結，擴大資訊之取得，以建構一個較完善的施肥推薦系統以供使用。本系統亦將是繼果園土壤及葉片營養診斷資訊系統 (陳與連，1989；Chen et.al., 2003) 後，建立之第二個施肥診斷推薦系統。

原理與方法

一、作業環境

本研究使用之個人電腦平台與軟硬體設備如下:

(一) 電腦平台

1. 作業系統

Microsoft Windows 98 或更新之作業系統。

2. 硬體設備

(1) CPU: Pentium III

(2) RAM: 256 M

(3) Hard Disk: 2 GB

(4) 顯示卡

(5) 螢幕

(二) 軟體設備

1. Visual Basic 6.0 企業版
2. ArcGIS 8.1 版
3. MapObject
4. MS Access 2000.

二、施肥診斷之依據

本系統施肥診斷主要係依據施肥手冊 (農委會、農林廳，1996)，由於氮素在土壤中之轉化過程較為複雜，且易造成環境問題，氮素需要量推薦之原則亦較複雜；手冊中氮素需要量之推薦，主要係依據以主要品種於各期作，分區舉辦之許多田間施肥效應試驗所研判，但僅屬於量之範圍 (Rate Range)。本系統為使其更符合依地點特性調節的施肥管理 (Site Specific Management) 需要，乃依地區內所涵蓋之生產力級別區分該區內各生產力級別氮素推薦量，生產力級別愈高者，其氮素需要量亦較高故 (表一)。

手冊中除了上述各地區氮素推薦量之範圍外，亦依栽培方式、品種特性及米品質之需要等，分別調整其推薦量或施肥方式，本系統均予納入，且亦進一步考量有機資材之施用量 (包括前作之殘留量) 以調整需肥量。詳細如表二、五及圖一、二。

表一、氮素推薦量等級
Table 1. Recommended rates[x] (kg ha^{-1}) of N related to variety , crop season, region and productivity levels of soil in respective region.

Variety	Crop season	Region[y]	Productivity level of soil				
			I	II	III	IV	V
Japonica	1	CSE	140	130	120	110	110
	1	N		120	120	110	100
	2	CSE		120	110	100	90
	2	N			110	100	90
Indica	1	CSE	150	140	130	130	
	2	CSE		120	110	100	100

註：[y] C, S, E and N signify central, southern, eastern and northern Taiwan, respectively.
[x] The N rate should be raised by 15 % if the direct-seeding system is used. Conversely, it should be reduced by 15 % in the cases of Japonica varieties with the characters of early maturity, glutinous type or susceptibility to lodging. The rate should also be reduced by 10 % if a higher quality of rice is chased.
(Source: (農委會、農林廳，1996)，The original rate ranges recommended for regions in the Manual are adjusted to recommended rates for each site according to the productivity levels of soils in respective region.)

磷、鉀之推薦量則僅依據土壤之有效磷、鉀含量及其有關田間施肥效應之校正試驗結果來推薦。詳細如表三、四、五及圖三、四。

三、資料庫分類

本系統之施肥推薦資訊以地理資訊系統呈現，診斷流程亦以各種圖層進行疊圖，而獲得最後之施肥推薦圖。系統係以 ArcGIS 系統之格式 (Shape file)，建立各種圖層資料層，而診斷之基準則以 MS Access 建立各種診斷依據及相關資訊之資料庫 (*.mdb)。系統之資料庫說明如下：

(一) 圖層資料庫 (*.shp) ：包括稻田生產力圖、土壤質地圖、土壤排水等級圖、土壤有效性磷含量圖，土壤有效性鉀含量圖等。

(二) 診斷基準資料庫 (*.mdb) ：包括水稻品種資料庫，氮、磷、鉀肥推薦基準，穗肥氮素推薦基準，各區域氮、磷、鉀肥撒施或條施分配率，良質米之氮肥推薦調整基準，栽培方式氮肥推薦調整基準，土壤質地氮肥推薦調整基準，土壤排水鉀肥推薦調整基準等。

(三) 其他相關資料 (*.mdb) ：包括陳與郭 (1991) 之稻田生產力與本系統生產力等級轉換對照表，圖例等級設定，層圖配置表等。

(四) 影像檔資料庫 (*.lan) ：由於遙測科技之發展，可藉由遙測獲得產量影像檔，目前系統可讀取 .lan 格式的影像檔，並可轉成 *.shp 格式之檔案，供施肥診斷判定。

(五) 文字檔資料庫 (*.txt) ：爲提供含座標位置之空間資訊，如產量、肥力資訊等，系統亦有讀取含座標位置及空間資訊之文字檔，並可轉成 *.shp 格式之檔案，供施肥診斷判定。

四、系統設計

本系統係以 Visual Basic 語言與 Mapobject 軟體，連結地理資訊系統及 MS Access 軟體，在微軟視窗 (MS Windows 98) 中文環境上，開發使用者介面與診斷流程，並產生施肥推薦圖。

本系統為方便將來系統的擴展，係將診斷基準，都整理於資料庫中，未來如須修改或增加診斷基準與相關資料，只需修改資料庫中之內容，不必修改程式。

結果與討論

一、系統與資料庫架構

(一) 系統架構

本系統按獲得空間資料之不同，分為

表二、水稻資料庫各品種農藝特性

Table 2. Agronomic characteristics of rice varieties in database.

	Varieties	Growing duration[z]	Lodging[y]	Adjustment[x]	Source[w]
1. Japonica	Taikeng No.8	2	1	0	1、3、4
	Tainung 67	2	5	0	2、4
	Taikeng No.14	2	1	0	4
	Taikeng No.9	2	1	0	1、4
	Taikeng No.2	2	1	0	3、4
	Taikeng No.16	2	5	0	1、4
	Kaohsiung 139	2	1	0	2、3
	Taikeng No.5	2	1	0	3、4、6
	Taikeng No.17	2	5	0	1、4、6
	Taikeng No.11	1	1	-0.15	4
	Hsinchu 64	2	1	0	2、3
	Taikeng No.13	2	1	0	1、4
	Taikeng No.15	1	5	-0.15	4
	Taikeng No.10	2	1	0	4
	Taichung 189	2	1	0	2、3、4
	Taikeng No.4	2	1	0	3、4、6
	Taikeng No.6	2	1	0	4、6
	Tainung 70	2	5	0	2、4
	Kaohsiung 141	1	1	-0.15	2、3
	Taichung 190	1	1	-0.15	2、4
	Kaohsiung 142	1	1	-0.15	2、3
	Taikeng No.1	1	1	-0.15	1、3、4
	Taikeng No.3	2	1	0	4
	Taitung 29	2	1	0	2、3
	Taikeng No.7	2	1	0	4、6
	Taikeng No.12	2	5	0	4、6
	Tainan No.5	2	5	0	2、3、6
	Tainung 72	2	9	-0.15	2、4、6
	Tainung 69	2	5	0	2、4
	Tainung No.71	1	5	-0.15	5
2. Indica	Taichung Sen 1	2	5	0	2、3
	Taichung Native 1	2	1	0	2、3
	Tai-Hsien 1	2	1	0	4

表二、(續)
Table 2. (continued)

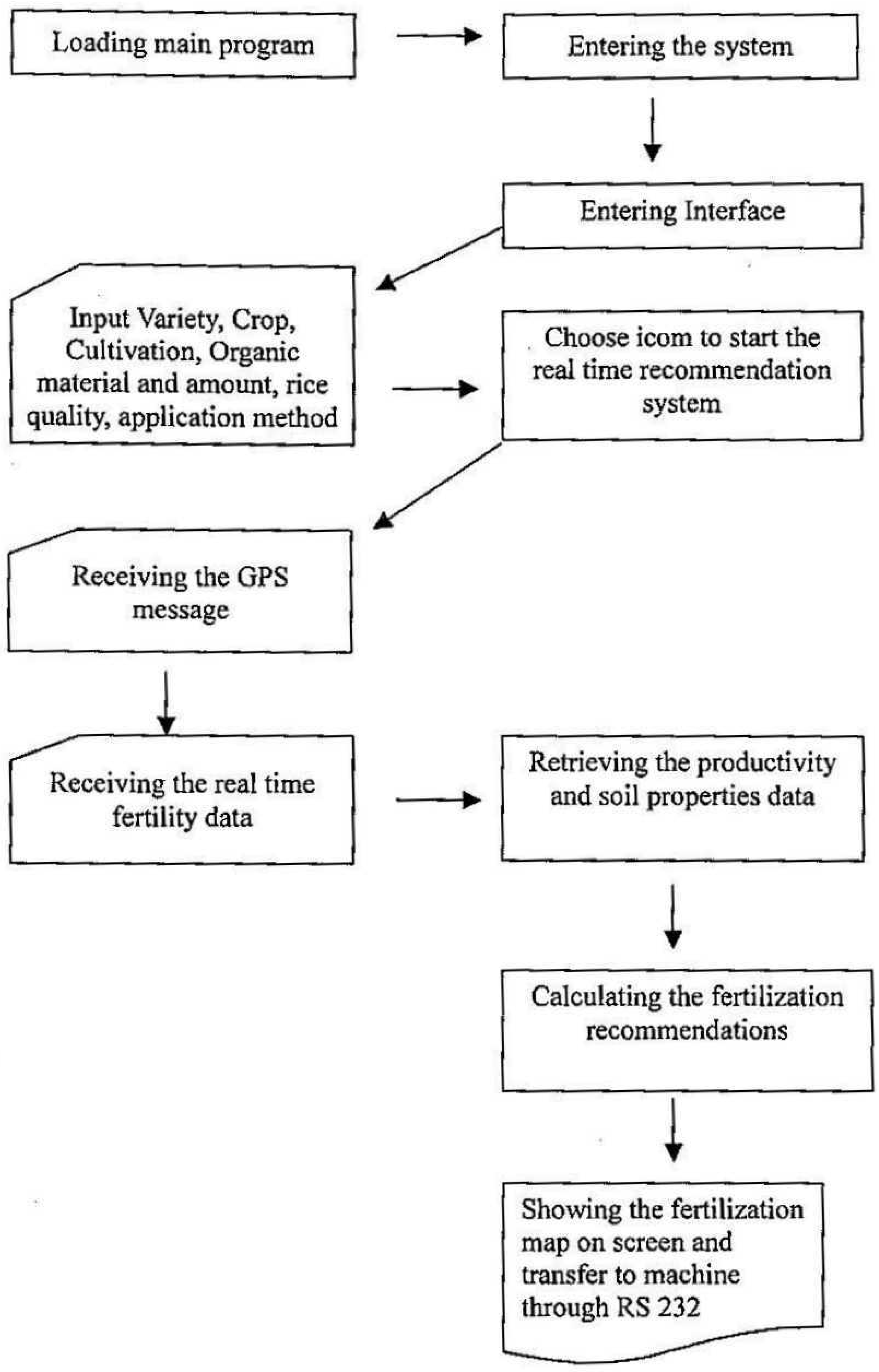
	Varieties	Growing duration^z	Lodging^y	Adjustment^x	Source^w
2. Indica	Tai-Hsien 2	2	1-6	0	4
	Taichung Sen 17	2	1	0	2、3、4
	Kaohsiung Sen 2	2	1	0	2、3
	Hsinchu-Ai-Chueh-Chien	2	3	0	3
	Pai-Mi-Fen	2	7	-0.15	3
	Tainan Hsien No.15	2	3	0	6
	Taichung-Hsien No.5	2	3	0	3
	Chu-Tzu	2	3	0	3
	Taichung Sen 12	2	1	0	2、3
	Tainung-Hsien No.20	1	3	0	6
	Chianung-Hsien No.11	2	1	0	2、3
3. Glutinous (Round)	Taikeng-No No.1	1	1	-0.28	1、3、4
	Taichung Glutinous 70	2	1	-0.15	1、2、3、4、6
	Taikeng-No No.5	1	2-3	-0.28	1、4
	Taikeng-No No.3	2	1	-0.15	1、4
	Taichung Glutinous 46	2	9	-0.28	2、3
	Hsinchu Glutinous 4	2	9	-0.28	2
	Tainung-No No.8	2	5	-0.15	3
	Tainan 1	2	5	-0.15	3
4. Glutinous (Long)	Taichung Sen Glutinous 1	2	1	0	2、3、4、6
	Tainung Sen Glutinous 2	2	1	0	2、3、4

z Growing duration : 1=Short, 2=Mediate and long
y Lodging : 1=Erect, 5=Intermediate, 9=Lodging
x Adjustment : Recommended rate = Recommended rate* (1+ Adjustment)
w (Sources : 1= (鄧等，1999), 2= (黃等，1987), 3= (農試所，2003), 4= (郭，1999), 5= (賴等，2001)

線上與離線施肥推薦系統。線上施肥推薦系統係空間變異量測、施肥決策與農機變量施肥同時進行，即施肥推薦系統架於農機上，在獲得空間變異資料後，立即進行施肥推薦診斷，並將施肥推薦資訊傳達與農機，以控制農機進行定位變量施肥，以即時量測空間肥力資訊及施肥爲例，其流程大致如圖一。可作爲施肥診斷之空間變異資料包括產量 (可顯示田區期作生產力)、土壤肥力、土壤特性及植物營養狀態等。前述空間變異資料可直接藉由量測儀器直接在田區獲得，或由資料庫中截取。

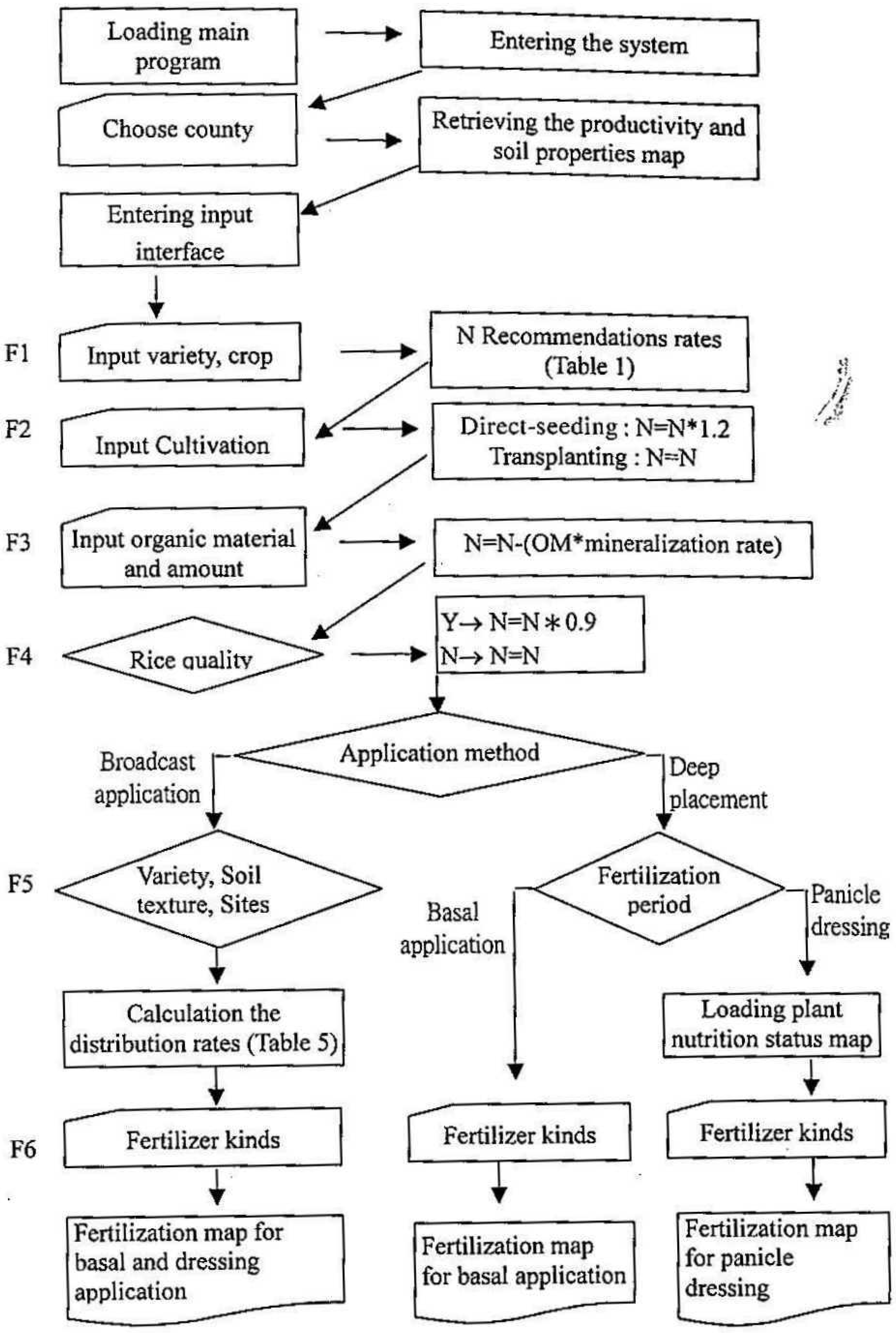
離線施肥推薦系統則空間變異量測、施肥決策與農機變量施肥分開作業。空間變異量測後將其資訊輸入資料庫中，系統在進行施肥推薦時，再從資料庫中截取所須資料，按施肥推薦原則與各種圖層套疊分析，產生施肥圖檔，此施肥圖檔再提供農機進行變量施肥。

施肥推薦系統之地理資訊系統可轉換之大地座標系統，包括 WGS84 經緯度、TWD67 平面座標與 TWD97 平面座標等系



圖一、線上施肥推薦系統之推薦流程

Fig 1. Diagram of real time fertilization recommendation system.



圖二、氮肥推薦流程

Fig 2. Diagram of nitrogen fertilization recommendation.

統。

(二) 資料庫架構與內容

施肥推薦系統資料庫，包括全省的一、二期作生產力圖 (陳與郭，1991) 、土壤特性與肥力圖 (林，1967) ，可提供全省之施肥推薦。系統對於各圖層之分析係以鄉鎮爲單位，並以鄉鎮爲單位存放各種圖層，以便於資料庫之管理，系統亦容許使用者依其需要，進行更大或更小面積之肥力診斷與施肥推薦，但需建立其個別之資料庫。此資料庫中易隨時間改變之資料亦應適時更新，以獲得較精準之施肥圖。圖層之貯存可依使用者之規劃分類貯存，只要在診斷時設定各圖形之路徑，以供系統截取各種圖層進行診斷推薦即可。

二、施肥推薦原則與流程

植物需求之要素共有碳、氫、氧、氮、磷、鉀、硫、鈣、鎂、矽、鐵、錳、鋅、銅、鉬、硼、氯等17種元素。其中除了碳、氫、氧係由空氣與水供給外，餘均靠土壤供給。植物自土壤中吸取的要素中，由於氮、磷、鉀三種要素之需要量較多，而且土壤中常無法充分供給，需要以肥料補充，稱爲肥料三要素。本研究先針對肥料三要素進行推薦。另一方面，水稻品種繁多，需肥情形亦依品種而異，本系

表三、根據土壤肥力分析結果磷酐推薦量 (公斤 公頃$^{-1}$)：

Table 3. Recommended rates for P fertilization based on the available P in soil (kg ha^{-1}) .

Soil available P (Bray no.1)		P_2O_5 recommended rate (kg ha^{-1})	
P（μg ml^{-1}）	Level	1st crop	2nd crop
0～1.6	Very Low	75	50
1.7～5.0	Low	60	40
5.1～12.0	Medium	45	30
12.1～30.0	High	30	20
＞30.0	Very High	15	0

(Source: (農委會、農林廳，1996), The recommended rates are modified to mean values for refining the recommendation and programming from the original recommended rates that are ranges.)

表四、根據土壤分析結果氧化鉀推薦量 (公斤 公頃$^{-1}$)：

Table 4. Recommended rates for K fertilization based on the available K in soil (kg ha^{-1}).

Available K (Mehlich's no.1)		Recommended K_2O (kg ha^{-1})	
K (μg ml^{-1})	Level	1st crop	2nd crop
0～15	Very Low	60	80
16～30	Low	45	60
31～50[2]	Medium	30	40
＞50[2]	High	15	20

(1) 30 kg ha^{-1} K_2O is added if soil drainage was not well which including level 3 (not well), level 4 (worse) and level 23 (saturated) in soil database.

(2) Level medium is changed to 30-70 μg ml^{-1} , Level High is changed to > 70 μg ml^{-1}, for sandy shale alluvial and laterite in Hsinchu and Taipei.

(Source: (農委會、農林廳，1996), The recommended rates are modified to mean values for refining the recommendation and programming from the original recommended rates that are ranges.)

統先選擇粳稻、秈稻、圓糯、長糯等類別，其中在臺灣栽種面積較廣之多種品種的氮、磷、鉀三要素進行施肥推薦。

土壤中某種要素之供給量低，則供給該種要素之肥料需要量高，施用效果亦大，反之則小。由多處肥料試驗之結果可以求得肥料效果指數 (或肥料經濟用量)，與土壤養分測定值 (要素供應能力) 間之相關。推薦磷、鉀需要量之最科學方法即應用此原則。氮肥需要量由於田間土壤之理化性質、氣候與耕作方式之變化，對土壤有機質分解之影響極大，頗難憑化學分析推測不同地點土壤之氮肥需要量，故在氮肥推薦需依賴過去由田間試驗所得結果與生長期間作物之反應，來調節其施用量。

由於氮素在土壤中之轉化過程較複雜，且易造成環境問題，因此施肥量研判之原則亦較複雜，主要是依據前人水稻試驗結果之推薦量爲範圍，再依期作生產力、有機資材之施用量 (包括前作殘留量)、米質以及土壤之質地等，依序調整其推薦量或施肥方式，其推薦流程如圖二。磷、鉀之施肥量則僅依據土壤之有效磷、鉀含量來推薦，磷肥與鉀肥之推薦流程分別如圖三與圖四。

(一) 氮肥用量推薦原則

水稻的生產主要賴於土壤的氮素肥力，因爲氮素是土壤中最易缺乏的要素，因此土壤氮素肥力管理是相當重要的，根

土壤與環境，民國九十二年十二月，第六卷，第四期，第 207 頁至第 222 頁
Soil and Environ., December 2003, Vol. 6, No. 4, p 207-p 222.

表五、肥料三要素施肥法 (撒施)：

Table 5. Application methods for N, P and K fertilization.

1. Distribution rates for N fertilization:

(1) Transplanting paddy

Variety	Soil	Distribution rates for N application (%)				
		Basal	Days after transplanting			Panicle dressing
			1st crop: 15 2nd crop: 10	1st crop: 30 2nd crop: 20	1st crop: 45 2nd crop: 30	
Japonica Glutinous (Round)	Fine texture※	45	–	30	–	25
	Coarse texture	25	20	30	–	25
Indica Glutinous (Long)	Southern	30	–	30	40	–
	Central & Northern	25	–	25	30	20

※ Fine texture : clay, clayey silt loam etc. (Levels 1-7 in soil texture database)
Coarse texture : sandy loam, silt loam etc. (Levels 8-10 in soil texture database)

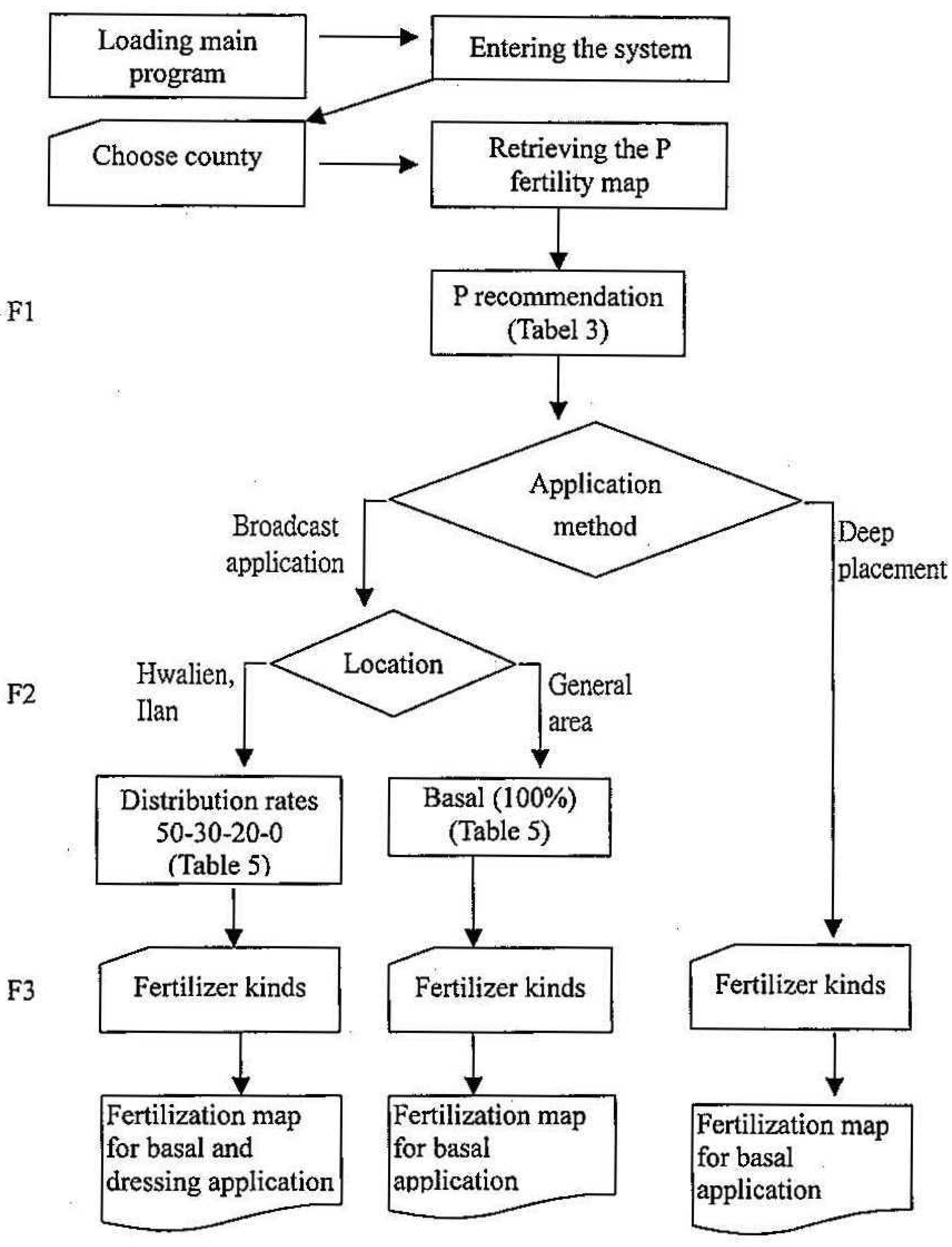
(2) Direct - seeding paddy

Locations	Distribution rates for N application (%)					
	Before sowing	4-5 leaves stage	Days after 4-5 leaves stage			Panicle dressing
			1st crop: 5 2nd crop: 3	1st crop: 10 2nd crop: 7	1st crop: 20 2nd crop: 14	
Western Taiwan except 1st crop in Hinchu	–	25	–	25	25	25
Taitung	25	–	–	25	25	25
1st crop in Hsinchu & Hualien	25	–	50	–	–	25
2nd crop in Hualien	25	–	25	–	25	25

2. Distribution rates for P and K fertilization:

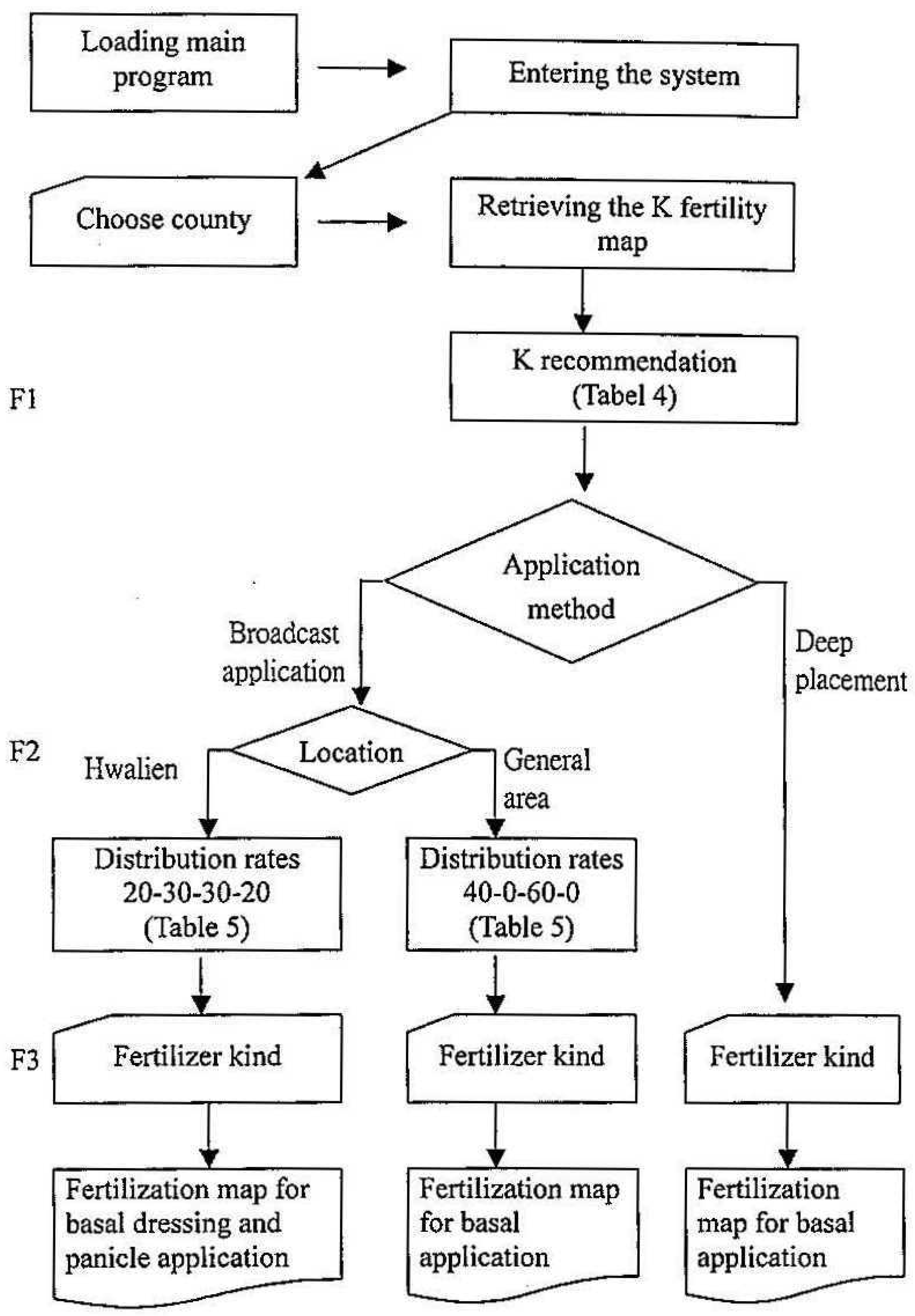
Fertilizer	Locations	Distribution rates for fertilization (%)			
		Basal	1st dressing	2nd dressing	Panicle dressing
P	General area	100	-	-	-
	1st crop in Hualien, Ilan	50	30	20	-
K	General area	40	0	60	0
	Hualien	20	30	30	20

(Source: (農委會、農林廳，1996), Some of the distribution rates are modified to mean values for refining the recommendation and programming from the original distribution rates that are ranges.)



圖三、磷肥推薦流程

Fig 3. Diagram of phosphorus fertilization recommendation.



圖四、鉀肥推薦流程

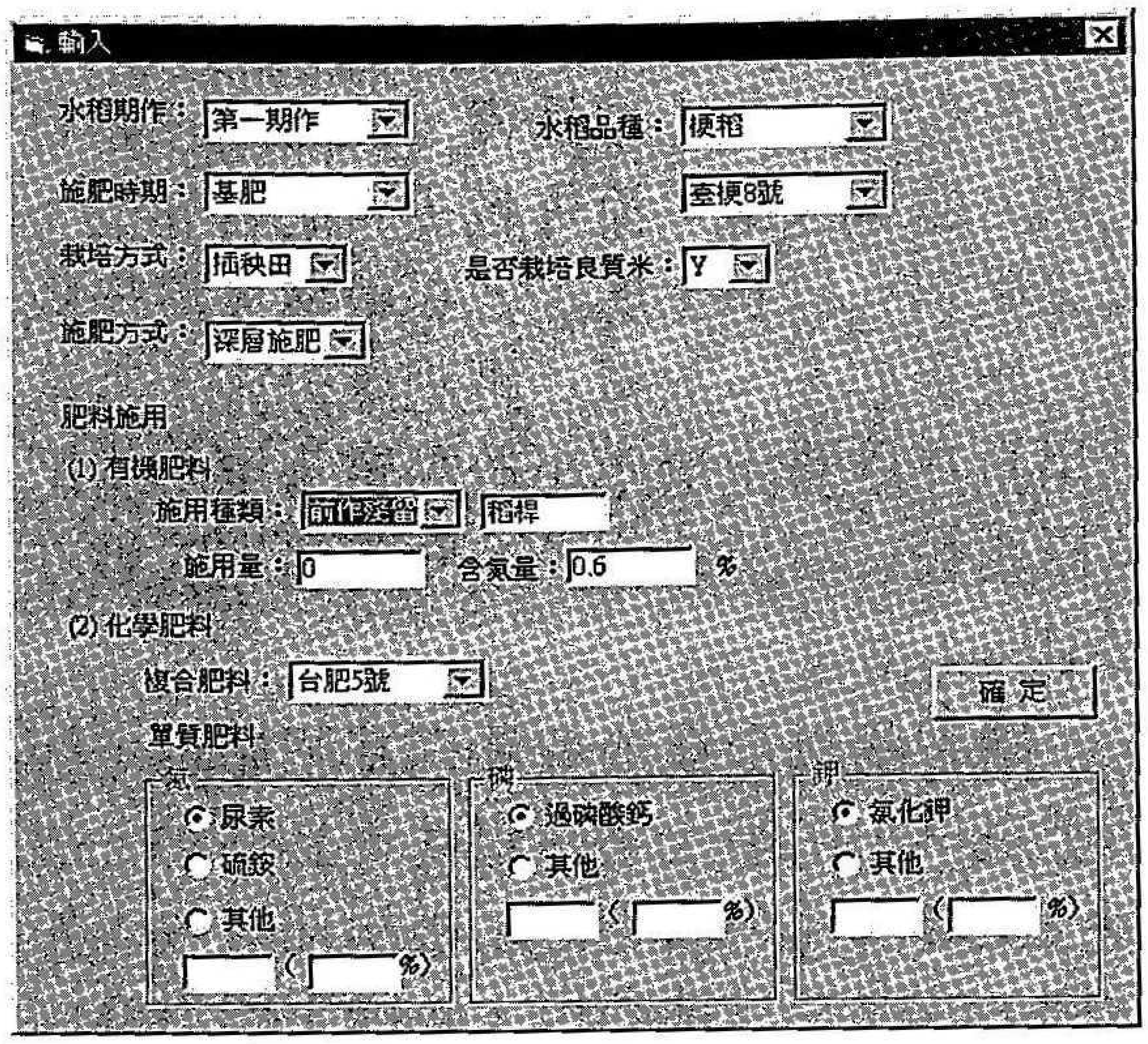
Fig 4. Diagram of potassium fertilization recommendation.

據前人的研究結果，氮素的推薦基於品種、區域與期作，土壤因子中則以剖面質地、pH與排水狀態較爲影響水稻的產量 (Lian, 1989)。

1. 期作生產力

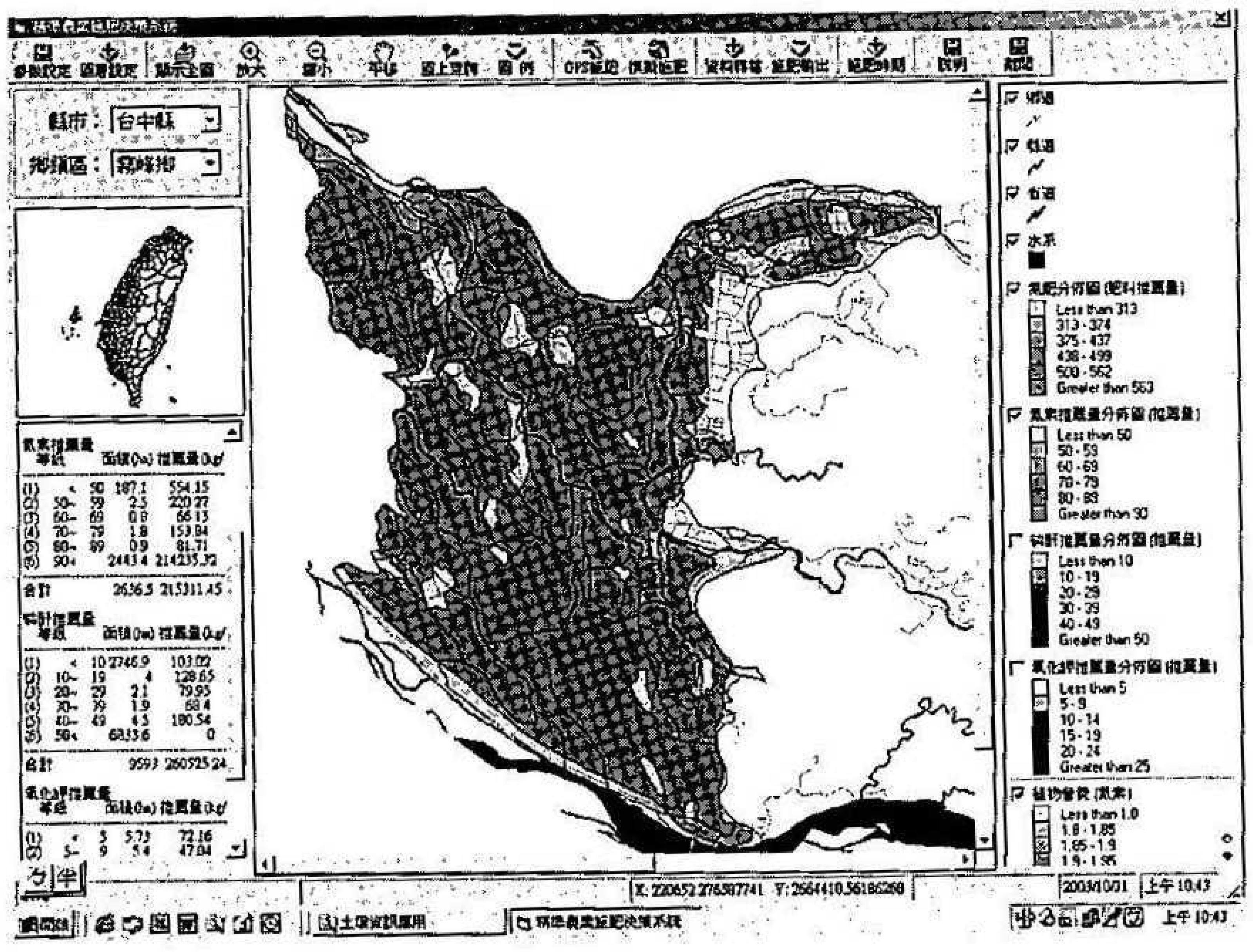
本系統之氮肥推薦量在期作生產力之考量上，乃引用陳與郭 (1991) 之臺灣地區稻田生產力分級規範，並在顧及農機限制及稻田生產力圖將來的應用，乃將原來的十級生產力概分爲五級。由於水稻現今的栽培技術更勝於生產力調查之時，因此生產力等級之第一級仍爲第一級 (產量 > 6.2 Mg/ha)，生產力等級之第二～四級則歸爲第二級 (產量6.2-5.2 Mg ha^{-1})，第五～七級則歸爲第三級 (產量5.2-4.2 Mg ha^{-1})，第七級以上則歸爲第四級 (產量4.2-3.2 Mg ha^{-1}) 與第五級 (產量 < 3.2 Mg ha^{-1})。期作生產力除了如前述以臺灣一、二期作水稻生產力圖 (陳與郭，1991) 爲基準外，亦可以各種遙測感應器所獲得之田間水稻產量空間分佈圖爲基準。各等級之施肥量則依據品種、期作與栽培方式，而有不同的氮肥推薦量 (農委會、農林廳，1996；黃，1978) ，如表一。施肥手冊中氮素推薦量爲變域 (range)，高低差異相當大，本系統爲提供較具體推薦量及考量程式設計上問題，乃進一步依稻田之生產力等級提供確切推薦量。

目前系統推薦之稻種，包括自 87 年起本省栽種面積較廣之梗稻、秈稻、圓糯與長糯品種，各品種之農藝特性如表二。其中較易倒伏之梗稻、早熟稻與圓型糯稻則比照一般梗稻減施 15 % 。長粒型糯稻推薦



圖五、水稻施肥推薦系統農耕資料輸入畫面

Fig.5. Input interface of the rice fertilization recommendation system.



圖六、水稻施肥推薦系統臺中縣霧峰鄉氮肥推薦分布圖

Fig.6. Nitrogen fertilization Map for Wufeng county by the rice fertilization recommendation system.

量與秈稻相同。系統亦預留擴充性，以增加不同品種之施肥推薦。

在栽培管理對氮素之需求方面，直播水稻田因初期沒有保持浸水狀態，硝化作用旺盛，氮肥損失較移植栽培爲大，因此水稻之氮肥需要量增加，故系統建議較一般移植栽培增加 15 % 之施肥量。行輪流灌溉及滲透快之水田亦因同樣理由，應增加氮肥需要量。

2. 作物殘體或有機資材之添加

據估計 (農委會、農林廳，1996)，稻蒿在一作期間的礦化率約爲 10-30%。豬糞堆肥、牛糞堆肥和稻草堆肥等 (C/N = 10-15) 在一作間之礦化率爲 50-80 %。綠肥、豆粕與雞糞等 (C/N = 8-10)，在土壤中之礦化甚迅速，其在一作間之礦化率幾近 100 % 。爲計算方便，本系統乃設定作物殘體一期作的礦化率爲 20 % ，二期作爲 30 % ，堆肥一期作的礦化率爲 60 % ，二期作爲 80 % ，綠肥、豆粕與雞糞的一、二期作的礦化率均爲 100 % 。由於田間前作殘體的殘留量不易估算，因此若沒有實測値，即以水稻產量視爲殘體可能殘留總量 (假設收穫指數爲0.5) ，並以稻蒿殘體一般含氮量 0.6 % ，計算殘留氮量。氮素推薦量除了扣除前述作物殘體之殘留氮量外；若田間施用有機資材，氮素推薦量亦按前述期作礦化率加以扣除。如前作爲蔬菜，其殘留的肥分很多，應另作考量。如稻蒿殘體移走或燒毀，則不扣除其可礦化氮量。

3. 米質

根據作物施肥手冊 (農委會、農林廳，1996)，生產良質米時，氮素用量應較一般推薦量減施 10 %～15 %。本系統則簡化爲一般推薦量減施 10 %。

(二) 磷、鉀肥用量推薦原則

磷、鉀肥的推薦量，主要是基於許多試驗單位田間土壤分析的校正，再經 Su (1975) 及 Lian (1989) 修正整合而得。按土壤肥力分析結果，磷酐推薦量如表三，氧化鉀之推薦量如表四。由於磷、鉀素常被土壤固定，不易被植物吸收，因此即使土壤有豐富的磷、鉀，仍然需要施用磷、鉀肥，以提供植物所需。根據試驗結果，以

白雷氏第一法及孟立克氏法所測定之土壤有效磷與有效鉀濃度，最能反應植物可利用之土壤中的磷、鉀素 (林，1983；林，1978)，因此以土壤的有效性磷、鉀代表土壤可供給之磷、鉀素。表三與表四即以水稻生長所需磷、鉀素，扣除土壤有效磷與有效鉀含量，而推估磷、鉀肥推薦量。施肥手冊中磷、鉀推薦量爲變域 (range)，雖相當窄小，但爲程式設計乃原則上採其中值，提供確切推薦量。

北部紅壤，主要分佈於桃園、新竹兩縣 (陳，1976)。紅壤曾經悠久之風化淋溶，其一般特性爲強酸性，有機物質及鹽基含量均低，而鐵鋁氧化物含量特高 (陳，1979)，其吸著磷之能力強，而植物可利用之養分如氮、磷、鉀、矽、銅、鉬 (李，1982) 等含量均低。其當稻田者土壤質地一般相當粘重而結構緊密、透水性弱、通氣性劣 (農試所，1975)，相當於因滲漏水被阻滯而呈過度還原狀態，因此，水稻對鉀肥之吸收受阻，鉀肥之需要量 (推薦量) 較其他土類高。另外，根據試驗結果，排水不良的土壤，鉀之吸收受阻，鉀肥的推薦量必須增加。系統對於排水不良的土壤，即農試所土壤資料庫中排水等級列第四級 (極不良) 者，建議鉀肥的推薦量再增加 30 kg ha^{-1}。

(三) 施肥方式

施肥的效應亦因施肥位置及時期而有很大的差異。因各種要素養分在土壤中之行動及作物營養之功能有所不同，故各種作物所需不同要素之施肥方法 (施肥位置、時期) 亦有所不同。一般水稻的施肥方式分爲撒施、條施與深層施肥。

1. 撒施與條施

(1) 施肥位置

要素在土壤中之流動及擴散，以氮素最速，磷不易移動，鉀在其間。土壤質地黏重時，因孔隙小及吸附力強，所施肥料之移動較在砂質土壤爲慢，故肥料在黏質土壤之肥效較緩，流失較少，肥害亦少。反之肥料在砂質土壤之效果較速，流失較多，肥害亦多，故氮、鉀肥應分施，其基肥用量在砂質土壤應小於黏質土壤，施肥位置應較後者遠離種子，同時追肥次數亦應增加。

磷肥應以全量或多量爲基肥施用，因磷肥在旱田中被土壤固定而不易移動，故施在土壤表面之磷肥不易被根部吸收；如撒施，亦難在早期利用，故磷肥應以條施方式施入適當位置。

在水田中磷亦不易移動，故當追肥施用而未混入土中之磷肥效果不佳，但在砂質水田爲還原性強之排水不良田，磷肥仍可溶解而向下移入；在此情形下，磷肥之分施有時優於全量作基肥施用者。

(2) 施肥時期：

施肥時期的要點在於施用肥料時，適爲作物需肥時期，如是一方面可減少損失，另一方面可供作物適時利用。故追肥時期的適當與否，對於用肥的經濟與肥效，均有極大影響。

在積極的意義，施肥時期的運用尚有調節作物營養生長與生殖生長，達提高收穫指數或收穫物品質之功效，在水稻方面適當的施肥時期可提高穀蒿比，防止倒伏。

根據作物施肥手冊 (農委會、農林廳，1996) 提出之水稻肥料三要素之施肥法如表五。其中氮肥之分配率，依稻種、土壤特性而調整。磷、鉀肥之分配率則依區域土壤特性而不同。施肥手冊中部分分配率推薦爲變域 (range)，雖相當窄小，但爲程式設計乃原則上採其中值，提供確切推薦量。

2. 深層施肥

根據調查結果，臺灣氮肥的利用率低於 50 % (洪與劉，1979)，顯示氮素的損失對環境帶來的潛在衝擊。根據多人的研究結果 (洪與劉，1979；洪等，1980)，深層施肥可提高肥料的利用率，以致減緩對環境的衝擊，亦節省能源。一般而言，深層施肥有 (1) 省力又省工、 (2) 省肥與防止水質被污染、 (3) 糾正農民偏好多施肥料之習性、 (4) 增加稻穀產量等優點 (王，1997)。根據連 (1983) 之試驗，顆粒尿素之深施雖無增產效果，但較一般尿素之標準施法可節省 20 % 之氮肥。銨態氮肥如施於土壤表面甚易揮散損失 (在鹼性土壤尤其嚴重)，故以深施爲宜 (水田)。在水田中之深施或全層施用，尚有防止銨態氮轉變硝酸態氮後脫氮損失之功效 (農委會、農林廳，1996)。唯土壤質地太砂性，且保水力又差者，則不宜採用深層施肥，因肥效無法保持易流失 (王，1997)。

採用深層施肥，只要在基肥施用原來推薦量的70 %，再依實際需要施用穗肥。

(四) 肥料種類

1. 撒施與條施

在氮素肥料中，許多水稻試驗顯示尿素之肥效與硫酸銨相當。在水田一公斤尿素 (氮46 %) 之效果大約與二公斤硫酸銨 (氮 21 %) 相同，但一公斤尿素的價格低於二公斤之硫酸銨許多，故尿素顯然較硫酸銨經濟。但尿素表面施肥，易造成氮的揮發損失，故應避免表面施肥。磷鉀肥則建議採用過磷酸鈣與氯化鉀。但爲節省肥料混合及運送之勞力，亦可使用複合肥料臺肥 39 號 (12-18-12) 爲基肥，以施用所需要的全部磷肥及部分氮鉀肥。不足之氮鉀肥以單質肥料或含磷少之複合肥料當追肥施用。

除了上述的建議，系統亦按使用者欲採用之肥料種類，依據推薦量及施肥時期，計算施用量。

2. 深層施肥

爲方便操作，深層施肥之基肥，以推薦複合肥料原則。比較 林 (1967) 與 Lin(1985) 之土壤磷含量，顯示臺灣地區水田有明顯的磷含量累積，且根據 Lin(1985) 之全省各試驗區之試驗亦顯示水稻對磷、鉀肥之效應不及氮肥，施用磷、鉀肥僅分別增產 0.6 - 0.8 % 與 0.7 - 1.5 %。因此，除了磷含量較低之水田，建議施用臺肥 39 號，一般水田均建議施用臺肥 5 號，一方面售價較便宜，另一方面單位面積用肥量亦較臺肥 39 號少，成本較低。由於上述原因，複合肥料之使用，乃以氮素需要量爲計算基準。

雖然就精準農耕之精神，應隨空間肥力變異，以單質肥料搭配合理的施用量，但限於插秧兼深層施肥機之承載量及施肥速度，仍先研究施用複合肥料 (臺肥5 號及 39 號) 之深層施肥機。

(五) 穗肥之氮肥推薦

無論是撒施或深層施肥，穗肥之氮肥施用與否及其施用量，均視幼穗形成期時之葉色、葉片態勢、病蟲害以及氣候情形決定之。以往穗肥之氮肥施用乃依據農友之經驗；目前在諸多研究中，則嘗試以遙感探測或葉綠素量測來決定穗肥之施用與施用量之多寡。

依據葉片氮含量與氮營養之需求量研究結果 (王等，2003)，擬訂穗肥之氮肥施用推薦原則如下，幼穗形成期時，葉片氮含量若超過 2 %，則不必再施穗肥；若葉片氮含量低於 1.8 %，則施全量穗肥，其施用量如表四之分配率。葉片氮含量介於 1.8 % ～2 % 之間者，則施全量穗肥之 50 %。

三、系統之執行

水稻施肥推薦系統之執行，係於農耕資料輸入畫面選擇期作、品種、栽培方式、施肥時期與方式、是否栽培良質米、施用肥料種類等資料 (圖五)，系統即依其選擇之農耕資料與前述診斷原則，進行相關生產力圖、土壤磷肥力圖、土壤鉀肥力圖、土壤排水等級圖、土壤表土質地圖等之套疊與圖層分析，而產生水稻施肥圖 (如圖六)。

四、系統之應用與限制

此系統係配合水稻精準農耕體系之研究計畫的推展而開發的。然歐美目前實施精準農業農場規模大都在 200 至 500 公頃之間，且每一農場栽培單純農作物種類。臺灣地區稻田每塊田區之面積狹小，且長久以來每個田區已成爲施肥管理的單位，各田區間之變異既非連續，亦無自動化農機變率操作系統發揮功能之餘地。但針對水稻經營方式，未來若有可能以代耕代營爲核心，規劃集團栽培，按灌溉區規劃 25 至 30 公頃農田爲集團栽培班，100 至 150 公頃爲集團經營團隊，接受小農及兼農委託代耕代營；這個經營架構如能實施，將有利於精準農業體系的運作 (陳，2000) 及本系統之應用。目前本系統之開發則偏重於將既有之稻田施肥推薦系統電腦化，並與土壤肥力、稻田生產力等資料庫連結，擴大資訊之取得，以建構一個較完善的施肥推薦系統以供使用爲目的。

基於水稻施肥推薦之原則，特別是針對土壤因子，推薦系統可藉由土壤特性圖層的套疊，產生因土壤空間變異之區塊變率施肥圖，以節省肥料的成本，並減緩施用過多的肥料，對環境造成的衝擊。引用於施肥推薦之因子如土壤質地與排水等級是屬於不易改變之特性，可直接引用土壤資源資訊系統資料庫，但土壤肥力因子，如土壤有效性磷、鉀等則應經常更新，以提高施肥推薦的準確性。而不斷進行之土壤測定資料，即可用來不斷地更新土壤肥力資料庫，不必爲了更新而重新全面調查，並賦於施肥推薦系統生機。

目前資料庫中應用於推估磷鉀肥推薦量之土壤有效性磷、鉀肥分布圖，係爲 1959-1965 年間進行臺灣省農田肥力測定之調查資料，因稻田多年來之磷、鉀肥施用，土壤中亦有磷、鉀累積跡象 (Lian, 1989) 。爲提高施肥推薦的準確性，執行水稻施肥推薦系統，應更新土壤有效性磷、鉀肥分布圖，以獲得合理之施肥推薦。由於磷、鉀在土壤變異較緩慢，個別田間可於兩、三年檢測一次，以調整其磷、鉀施用量避免浪費。

資料庫中應用於氮肥診斷推薦之生產力圖，係爲 1977-1984 年間臺灣地區稻田生產力分級規範及調查所繪製之一、二期作生產力圖 (陳與郭，1991)，基於目前遙測技術之發展，可藉由遙測所獲得之產量圖逐漸更新，以獲得更佳之施肥推薦資料。

目前水稻施肥推薦系統之診斷基準系依據前人之肥料試驗結果，故施肥推薦乃依據我國現有之一、二期作耕作制度，若欲擴展於其他不同之栽種時期，則需藉助如水稻生長模式等之分析工具，此可爲本系統未來之擴充方向。

結　論

本系統係整合前人研究成果，擬訂水稻氮磷鉀肥之施肥推薦原則，並串連農耕資料庫、土壤資料庫、地理資訊系統、全球定位系統及遙測科技，提供考量空間變異之施肥推薦圖，以建構一個較完善的施肥推薦系統以供使用。未來亦可提供水稻精準農耕體系中自動化農機變率施肥資

訊。

誌 謝

本研究承行政院農委會科技計畫 (90農科 -4.1.1- 農 -C2 (02) 及 91 農科 -5.1.3- 農 -C2(5)) 經費補助，謹致謝枕。本文經前農試所農化系主任連深博士修改斧正，及農試所農藝組李長沛先生與陳治官博士提供水稻品種特性資料，謹致謝忱。

參考文獻

王明茂。1997。六行式水稻插秧兼深層施肥機簡介。高雄區農技報導。第 20 期。高雄區農業改良場。

王鐘和、林毓雯、丘麗蓉、陳琦玲、劉滄棽。2003。肥料深施及穗肥對水稻產量之效應及診斷研究 p.105-120。楊純明、林俊義主編。水稻精準農業體系。行政院農委會農業試驗所編印。霧峰。

行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳。1996。作稻施肥手冊－參、水稻。行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳編印。

行政院農業委員會農業試驗所 (簡稱農試所)。2003。國家作物種原資料庫。http://www.npgrc.tari.gov.tw.

李子純。1982。紅壤稻田生產力改進試驗。中華農業研究。31(2):71-88。

林木連、陳琦玲、黃維廷、蘇庭瑤。2001。地理統計在變率施肥技術之應用。p.29-40。地理統計在農業和環境科學之應用研討會論文集。五月三日。臺北。中國農業化學會。

林家棻。1967。臺灣省農田肥力測定。臺灣省農業試驗所試驗報告第 28 號。臺灣省農業試驗所。霧峰。

林家棻。1978。本省中部若干土壤中鉀釋放特性之研究。中華農業研究。27(4):297-308。

林家棻。1983。磷素肥料在土壤中變化與聚積研究。臺灣省農業試驗所民國71年年報。p.82-87。

洪崑煌 、劉天斌。1979。不同時期所施肥料氮利用率與稻穀收量之關係。國立臺灣大學農學院研究報告。19(1):1-18。

洪崑煌、景種、劉天斌。1980。水稻田氮素肥培管理之初步研究。科學發展月刊。8(8):703-710。

連深。1983。紅壤的水稻生育、收量與矽酸肥力之關係。p.1-18。農學團體 72 年度聯合年會特刊。中華農學會。

連深。1998。我們的水田需要減「肥」了！水稻的合理化施肥技術。p.8-13。為我們的土地量身減肥。合理化施肥推廣手冊 (1)。行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳出版。

連深。1999。稻田之肥培及土壤管理改進。p.379-388。鄧耀宗 (編) 等。臺灣稻作發展史。臺灣省政府農林廳。

郭俊開。1999。臺灣農業動植物新品種名錄。臺灣省政府農林廳編印。

陳文德。2000。我國精準農業的發展方向與策略。p.8-13。楊純明，林俊義主編。水稻精準農業 (耕) 體系之研究。行政院農委會農業試驗所。霧峰。

陳春泉、郭鴻裕。1991。臺灣地區稻田生產力分級規範及調查。臺灣省農業試驗所特刊第 34 號。台灣省農業試驗所。霧峰。

陳春泉。1976。桃園縣土壤調查報告。臺灣省農業試驗所報告第 33 號。台灣省農業試驗所。霧峰。

陳振鐸。1979。臺灣磚紅壤之利用與管

理。臺灣省土壤肥料學會發行。

陳琦玲、連深。1989。果園土壤及葉片營養診斷資訊系統之初擬。p.85-115。杜金池、連深主編。果園作物營養診斷應用研習會專輯。臺灣省農業試驗所特刊第28號。臺灣省農業試驗所。霧峰。

黃正華 (主編) 等。1987。臺灣稻作品種圖誌。行政院農業委員會、臺灣省政府農林廳、亞太糧食肥料技術中心編印。

黃武林。1978。稻作施肥改善推廣報告。臺灣農業。14 (1) :111-138。

臺灣省農業試驗所。1975。全省主要水田土壤生產潛力之比較及有關營養因素研究。民國 64 年年報。p.60。臺灣省農業試驗所。霧峰。

鄧耀宗 (主編) 等。1999。臺灣稻作發展史。臺灣省政府農林廳編印。

賴明信、李長沛、曾清山、黃惠娟、陳治官、郭益全。2001。水稻臺農 71 號 (益全香米) 的育成。中華農業研究。50(2):1-12。

戴登燦、林月金。1992。臺中區水稻施肥量與施肥方法之調查研究。I. 水稻施肥量與施肥次數。臺中區農業改良場研究彙報。35：33-40。

澀澤榮。2000。精密農法にあける情報利用。農業おろび園藝。75 (8)：853-858。

Chen, C. L., A.H. Chang and S. Lian. 2003. Nutrient Diagnostic and Service System for Fruit Production in Taiwan. p. 205-225. Proceedings of International Seminar on Farmers' Use of Diagnostic Systems for Plant Nutrient Management. August 11-15, 2003. Suwon, Korea. Published by RDA, Korea and FFTC/ ASPAC.

Blackmore, S. 2000. Developing the principles of precision farming. http://www.cpf.kvl.dk

Lian, S. 1989. Fertility management of rice soils in R.O.C. on Taiwan. FFTC Book Series No. 39. FFTC/ASPAC, Taipei, Taiwan ROC.

Lin, C. F. 1985. Fertility capability classification as a guide to P, K- fertilization of lowland rice. In soil taxonomy (P. MacGregor, ed.). FFTC Book Series No. 29. FFTC/ASPAC, Taipei, Taiwan ROC. pp.103-120.

Robert, P. C. 1997. Remote sensing: A potential powerful technique for precision agriculture. Land satellite information in the next decade II. December 4, 1997. Washington D. C.

Su, N. R. 1975. Fertilizer applications to rice in Taiwan. FFTC Extension Bulletin No. 60. FFTC/ASPAC ,Taipei, Taiwan ROC.